

# 蒙古国欧玉陶勒盖铜(金)矿床物探找矿技术分析

白大明, 聂凤军, 江思宏

中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

**摘 要:** 欧玉陶勒盖铜金矿是 21 世纪初由加拿大 Ivanhoe Mines 公司探明的世界级斑岩型铜金矿床, 矿体规模大、埋藏深, 被淹没在蒙古国南部茫茫戈壁沙漠中, 找矿难度极大。物探方法技术(激电、高精度磁测和电磁法)在矿床勘查评价中起到了重要作用, 研究其有效性, 总结该矿床的综合方法找矿经验, 可为掩盖区寻找隐伏斑岩铜多金属矿床提供借鉴。

**关键词:** 斑岩铜金矿床; 物探; 激发极化法(IP); 地面磁法; 欧玉陶勒盖; 蒙古国

**中图分类号:** P631.221; P631.324; P631.325 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-3021(2010)03-443-06

## Geophysical Exploration Methods for the Oyu Tolgoi Cu-Au Deposit in Mongolia

BAI Da-ming, NIE Feng-jun, JIANG Si-hong

Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037

**Abstract:** Located in the gobi desert of southern Mongolia, the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au deposit is a world-class ore deposit explored by Ivanhoe Mines Limited Company of Canada. Deeply buried ore bodies make it very difficult to conduct exploration. Geophysical methods, such as induced polarization(IP), ground magnetic survey and electromagnetic survey, have played an important role in the exploration of this Cu-Au deposit. The effectiveness of the geophysical prospecting methods used in the Oyu Tolgoi deposit was analyzed and summarized in this paper. It is suggested that the prospecting methods applied to the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au deposit can be tentatively used in search for similar concealed porphyry deposits in gobi or desert areas.

**Key words:** porphyry Cu-Au deposit; Geophysical; induced polarization(IP); ground magnetic survey; Oyu Tolgoi; Mongolia

欧玉陶勒盖(Oyu Tolgoi)斑岩铜金矿位于蒙古国南戈壁省, 北距蒙古国首都乌兰巴托市 550 km, 南距中蒙边境仅 80 km。矿区中心地理坐标为北纬 43°01', 东经 106°51'。欧玉陶勒盖地区海拔 1140 m 至 1215 m, 地势起伏平缓, 一般相对高差小于 50 m, 地表除少量岩石出露, 大部分被残坡积物和沙漠覆盖。欧玉陶勒盖超大型铜金矿床的发现, 使中蒙边境戈壁荒漠这片不毛之地成为全球铜金矿找矿勘查的热点地区之一(刘益康等, 2003; 张义等, 2003; 聂凤军等, 2004; 肖伟等, 2010)。

### 1 地质-地球物理勘查简况

二十世纪八十年代, 蒙古与前苏联地质部门开展区域地球化学调查, 在欧玉陶勒盖(以下简称欧玉)中部区发现钼异常。

1983 年, 蒙古地质学家 Garamjav 在欧玉南部区发现了孔雀石化露头; 1995 年, Garamjav 带领 Magma Copper 公司(1996 年被澳大利亚 BHP 公司收购)的一个铜矿勘查小组考察欧玉地区时, 在欧玉中部区发现了淋滤的斑岩矿化岩帽。1997 年 BHP

本文由国家科技支撑课题(编号: 2007BAB25B02)和地质调查项目(编号: 1212010911029)联合资助。

收稿日期: 2010-04-28; 改回日期: 2010-06-13。

第一作者简介: 白大明, 男, 1955 年生。研究员。从事地球物理勘查研究与应用工作。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68999061。E-mail: dmb2602@yahoo.com.cn。

公司获得了该区的探矿权,开展了地质填图、水系和土壤地球化学测量、高精度磁法和激电测量(IP)等工作,在矿化有利部位获得了物化探异常。以此为基础,对欧玉中部次生辉铜矿富集带和欧玉西南部原生铜金矿化带进行了钻探验证,在23个分布零散的钻孔中(累计进尺3000多米),有两个孔结果较好,一个见矿长度26 m, Cu 平均品位  $0.86 \times 10^{-2}$ ,另一个见矿长度38 m, Cu 平均品位  $1.63 \times 10^{-2}$  (Perello et al., 2001)。

出于资金和战略调整等原因,2000年5月,BHP公司将包括欧玉在内的238 km<sup>2</sup>的勘查权区转让给了加拿大艾芬豪矿业(Ivanhoe Mines)公司。2000年6月至2007年3月,Ivanhoe Mines公司通过大量的反循环钻进和金刚石钻探,取得了找矿重大突破,发现了巨厚的富铜矿体和铜金矿层,确立了其世界级斑岩铜金矿床的地位(Khashgerel et al., 2006),欧玉陶勒盖地区共获矿石量27.8亿吨,铜平均品位  $1.15 \times 10^{-2}$ ,金平均品位  $0.35 \times 10^{-6}$ ,其中铜金属量3214万吨,金金属量987吨(据艾芬豪公司2007年网上公布数据)。

## 2 矿床地质特征

欧玉陶勒盖矿床位于南蒙古构造岩浆岩带,西伯利亚板块南缘近东西向和东北向深大断裂所挟持的古生代岛弧带内。矿区范围内出露的地层以志留

纪、泥盆纪的层状安山岩和玄武质流纹岩为主,并有细-粗粒陆源火山碎屑沉积夹层。侵入岩主要为石英二长闪长岩、长石斑岩、长石角闪斑岩和石英长石斑岩和岩脉(图1)。该地区还发现了正长花岗岩及流纹岩和安山岩的复合岩脉(刘益康,2003)。

截至目前,在欧玉陶勒盖铜金矿勘查区钻孔控制的6 km × 3 km 范围内共发现了四个斑岩铜金矿化和高硫化低温热液系统,分别为欧玉西南部、欧玉南部、欧玉中部和欧玉远北部(又称雨果达迈特地区(Hugo Dummett))。

### 2.1 欧玉中部

主岩为石英二长闪长岩,蚀变分带明显,在中间部位由富明矾石集合体和少量黄铁矿组成,向外围和深部逐渐过渡为石英-迪开石-叶腊石和石英-绢云母-伊利石集合体。与欧玉西南部不发育次生富集带相反,欧玉中部地表为黄钾铁矾和针状褐铁矿组成的25-50 m厚的淋滤岩帽,向下过渡为次生硫化物富集带直至原生和次生硫化物混合带。次生硫化物富集带距地表100-200 m左右,其上部为20-40 m厚的辉铜矿带,铜平均品位  $0.6 \times 10^{-2}$  -  $1.9 \times 10^{-2}$ ,下部为铜蓝带,铜平均品位  $0.4 \times 10^{-2}$  -  $0.5 \times 10^{-2}$ 。原生铜矿化主要由砷黧铜矿、辉铜矿、铜蓝、斑铜矿、少量硫砷铜矿和硫钼铜矿以及微量黄铜矿组成,其它金属矿物还有黄铁矿、闪锌矿和微量锡石和磁黄铁矿。

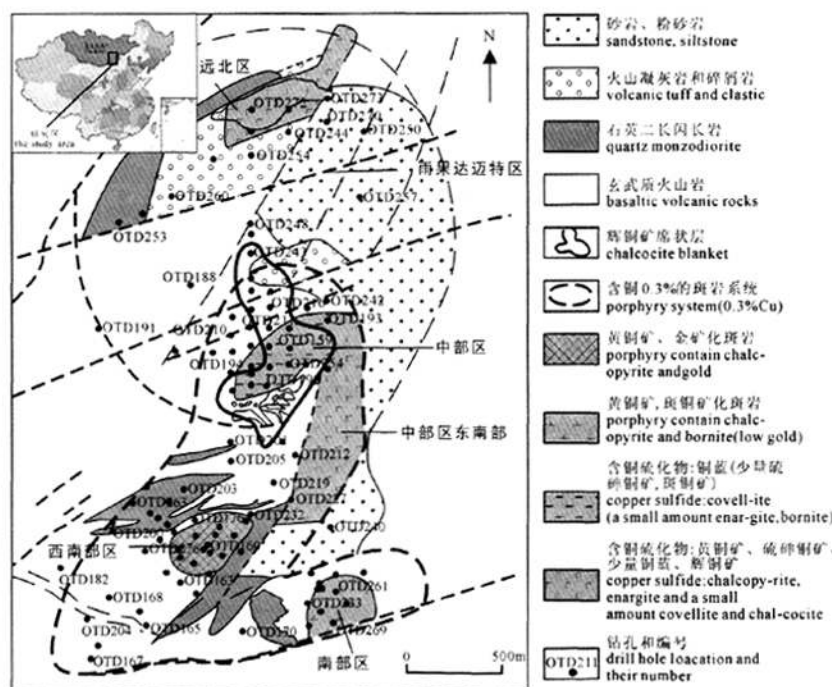


图1 欧玉矿区地质与矿化略图(刘益康等, 2003)

Fig. 1 Geological and mineralization sketch map of the Oyu Tolgoi ore district (after Liu et al., 2003)

## 2.2 欧玉西南部

矿体呈圆柱状, 近地表直径 250 m, 垂深超过 800 m, 含高品位铜金矿化。矿化以 10-30 m 宽具中粒斑状结构的石英二长闪长岩岩株为中心, 向外延入含辉石玄武岩围岩中。以强烈硅化(>20%)和黑云母蚀变发育为特征, 向外弱绿帘石化带, 铜品位在  $0.3 \times 10^{-2}$  左右。高品位区矿体(金品位  $>1 \times 10^{-6}$ )主要产于块状、斑状含辉石玄武岩中, 与浸染状或脉状黄铜矿-磁铁矿带伴生, 或以自然金的形式与黄铜矿连生, 或以包裹体的方式存在于铜的硫化物中。该成矿系统含硫低(<5%), 以存在中强热液磁铁矿和石膏-硬石膏为特征(刘益康, 2003; Perello et al., 2001)。

## 2.3 欧玉南部

原生斑岩型铜矿化主要发育在玄武质火山岩以及规模较小的石英二长闪长岩脉中, 近圆形, 范围  $600 \text{ m} \times 400 \text{ m}$ , 含铜  $0.3 \times 10^{-2}$ , 含铜矿物主要为黄铜矿和斑铜矿, 金含量低。在原生铜矿体之上有含孔雀石的氧化带, 厚达 40 m, 范围  $300 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 。矿体及围岩蚀变特征与欧玉西南部矿床相似。

## 2.4 欧玉远北部(Hugo dummett 地区)

远北区分为南、北两段。其南段与欧玉中部区相似, 高硫化浅成热液系统叠加在斑岩系统之上, 矿体主要赋存于英安质凝灰岩中, 斑铜矿、黄铜矿、辉铜矿等铜矿化与侵位于凝灰岩中密集产出的石英脉有关, 呈现明显的侧向分带, 中心为以斑铜矿为主的核, 向外变为黄铜矿和黄铁矿带。产在英安质凝灰岩中的高级泥化蚀变以含大量明矾石、叶腊石、一水硬铝石、迪开石、黄玉、氟黄晶和少量萤石为特征。其北段矿化赋存在玄武岩和石英二长闪长岩中, 发育一条不连续的高品位斑铜矿带, 延伸至少 1.6 km, 其南端矿化垂向延伸 100 m, 而在北端矿化垂向延伸达 700 m, 水平宽度变化于 150 m-180 m。该高品位斑铜矿核心带被品位  $>1 \times 10^{-2}$  的铜矿化体包围, 在地下 1160 m 处水平宽度最大值达 450 m。高品位的 Au 总是与斑铜矿共生。目前, 该地区已成为欧玉陶勒盖勘查区铜金储量最大的地区。

## 3 有效的地球物理探测技术

BHP 公司在欧玉矿区开展的地球物理测量主要有激发极化法(IP)(线距: 100 m、点距: 25 m; AB 距: 2600 m)、和地面高精度磁测, Ivanhoe Mines 公司也做了一些 IP 和电磁测深工作, 对该区深部隐伏矿体的发现和勘探起到了重要作用。

由于欧玉铜金矿体富含硫化物且围岩蚀变强,

具有高极化率电性, 所以欧玉矿区物探勘查方法以激发极化法效果最佳, 矿体可产生明显的高视充电率异常。由于不同矿化区矿体围岩岩性和次生富集带发育程度不同, 其磁性特征各异, 因此可引起不同性质的磁异常, 如正高磁异常或弱-负磁异常。

### 3.1 欧玉中部区

欧玉中部区激电视充电率和视电阻率异常平面图显示(图 2), 区内分布有视充电率高异常, 异常近东西走向, 异常范围长 700 m、宽 300-500 m, 异常最大值 40 mv/v, 由二个局部高值区(A、B)组成。视充电率异常北侧梯度带(OTD187、OTD196、OTD159 一带)是视电阻率异常低阻区, 其向南是中阻过渡带。地表黄钾铁矾和褐铁矿化构成的蚀变壳及其下部的席状次生辉铜矿层和铜蓝带充水性好, 与低阻异常区相吻合, 淋滤作用致使原生硫化物流失, 其视充电率异常不高。次生富集带下部北倾的原生铜、金矿体处于低阻至中阻过渡带(图 3), 呈现出高充电率异常。矿体头部对应视充电率局部异常高值 B 区。

欧玉中部斑岩系统主岩石英二长闪长岩含密集石英网脉, 硅化、绢云母化蚀变加淋滤作用, 产生了强烈的退磁作用, 因此中部区处在负磁场区(图 4)。

对欧玉中部区而言, 视电阻率低阻异常区反映了次生富集带的展布, 高视充电率异常则是深部原生铜金矿体的反映。

### 3.2 欧玉西南部和南部

欧玉西南部、南部成矿背景相同, 其物探异常的最显著特点是, 两个矿化集中区铜金矿体产生的激电视充电率高异常和高磁异常相套合(图 4、图 5), 这是由于两矿区高硫化物矿(化)体均赋存在具磁性的含辉石玄武岩中。从激电异常图看, 欧玉西南部、南部异常应是同一个高视充电率异常带, 受北东向断裂错动而分离的产物。欧玉西南部激电异常部分验证钻孔见矿情况见表 1。

### 3.3 欧玉远北部(Hugo Dummett 地区)

欧玉远北部分布一个较为宽阔的北东东走向、略向北西凸起的月牙形激电视充电率异常, 范围  $1.6 \text{ km} \times 0.7 \text{ km}$ , 面积约  $1 \text{ km}^2$ , 异常由两个局部高值区组成(图 6)。视充电率异常最高值 20 mv/v。与一条长约 1.6 km 不连续的高品位斑铜矿带相吻合, 区内硫化物特别发育。对其验证时众多钻孔见到了厚大高品位铜金矿体, 其中 OTD270 号孔从 220 m 至 860 m 钻到厚达 640 m 的铜金矿体, 平均品位 Cu:  $1.61 \times 10^{-2}$ 、Au:  $0.07 \times 10^{-6}$ , 最富矿段(厚 114 m)平均品

位 Cu:  $3.58 \times 10^{-2}$ 、Au:  $0.23 \times 10^{-6}$ 。矿体赋存于玄武岩和石英二长闪长岩中, 在 1160 m 深处矿体最宽可达 450 m。高品位的 Au 总是与斑铜矿共生。目前, 该

地区已成为欧玉勘查区铜金储量最大的地区, 勘探工作也主要集中在这个地区。值得注意的是, 铜金矿带对应低磁异常, 说明这套玄武岩无磁性(图 4)。

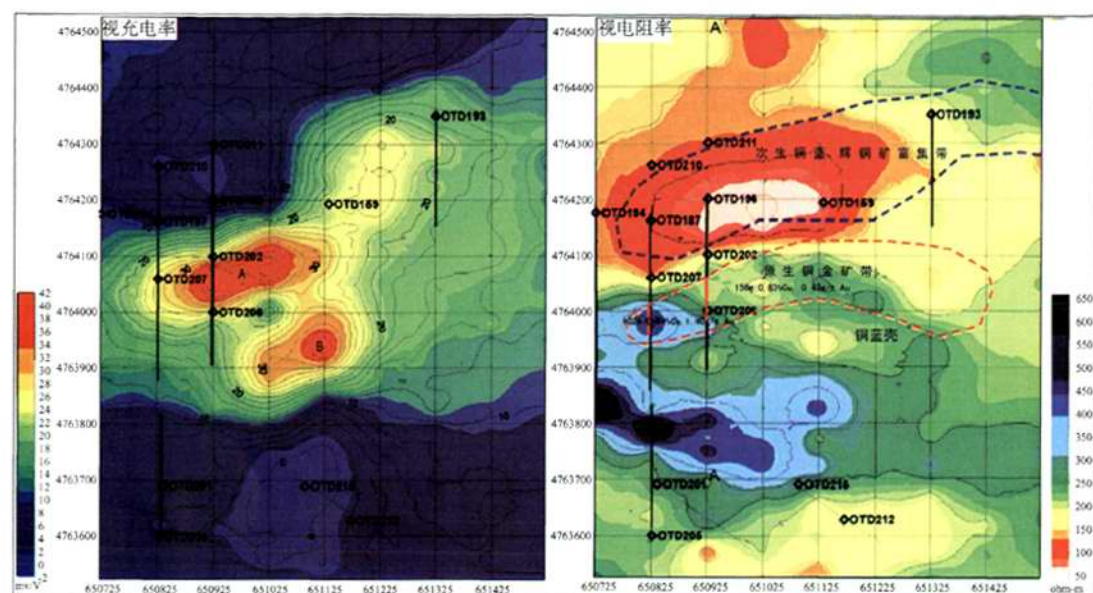


图 2 欧玉中部激电(IP)异常和矿(化)体分布图(根据艾芬豪公司网上公布图件编制)

Fig. 2 Induced polarization(IP) anomalies and mineralization in central Oyu Tolgoi

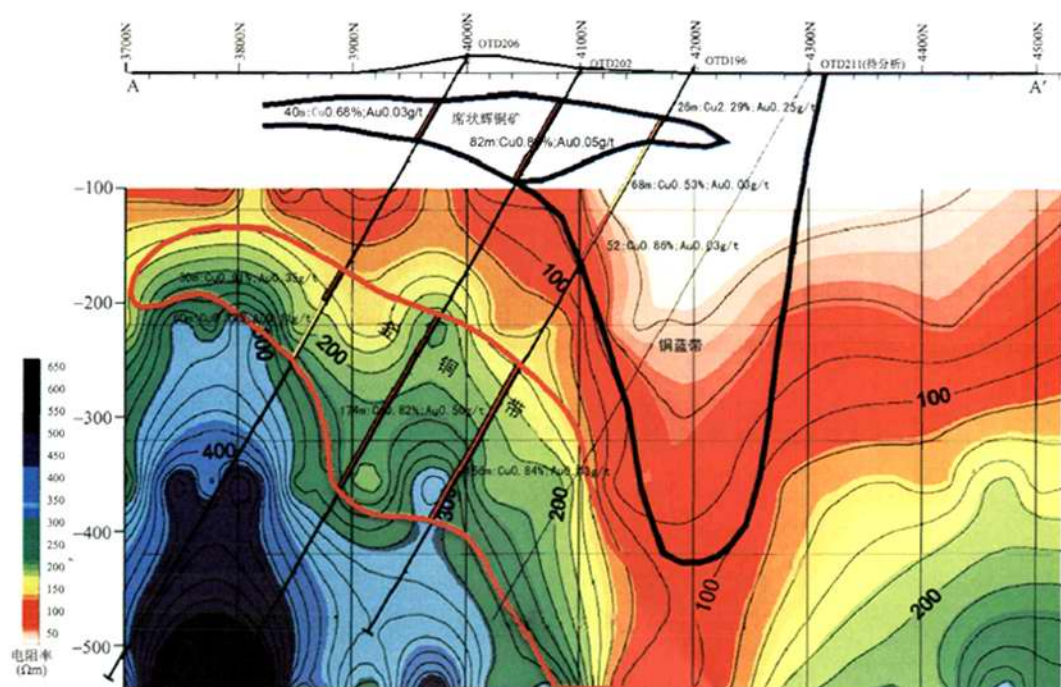


图 3 欧玉中部 A-A' 线电阻率测深和钻孔剖面图(根据艾芬豪公司网上公布图件编制)

Fig. 3 Profile of resistivity anomalies and drill holes along A-A' line in central Oyu Tolgoi



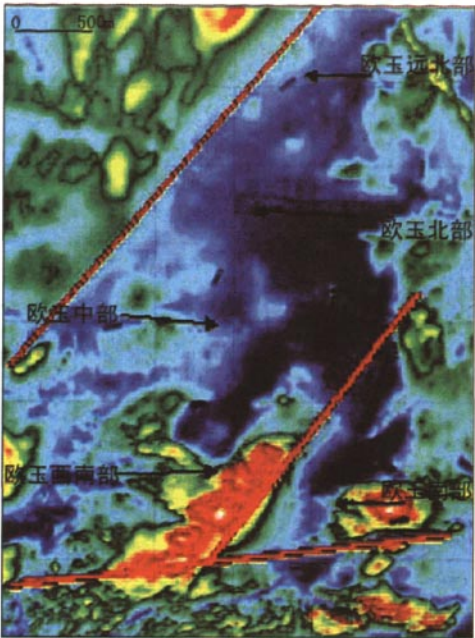


图 4 欧玉矿区地面磁异常( $\Delta T$ )平面图  
(根据艾芬豪公司网上公布图件编制)  
图中异常红色区域代表高磁异常; 蓝色区域代表低磁异常  
Fig. 4 Ground magnetic anomalies( $\Delta T$ )in the Oyu Tolgoi ore district

表 1 欧玉西南部部分岩心钻探结果(刘益康等, 2003)  
Table 1 Data from part of drill holes in southwest Oyu Tolgoi (after Liu et al., 2003)

孔号	见矿位置 (m)	见矿长度 (m)	平均品位	
			Au( $10^{-6}$ )	Cu( $10^{-2}$ )
OTD180	60~862	802	0.92	0.56
OTD183	104~666	562	1.44	0.82
OTD172	332~400	68	1.02	0.65
	400~516	116	2.35	0.88
OTD166	60~538	478	1.38	0.74
OTD160	46~334	288	1.68	0.8
OTD161	56~416	358	1.70	0.71
OTD162	110~240	130	2.25	0.85

4 讨论与结论

欧玉陶勒盖斑岩铜金矿区物探和找矿成果说明, 最初采用激发极化法和高精度磁法作为主要物探勘查手段寻找隐伏原生硫化矿体是非常明智的选择, 该物探方法组合的经济性和高效率不言而喻。矿区主要的激电异常均为矿致异常, 这对于指导工程验证, 寻找深部隐伏矿体至关重要而有效。矿区内金属次生富集带不产生明显的激电视充电率异常, 而

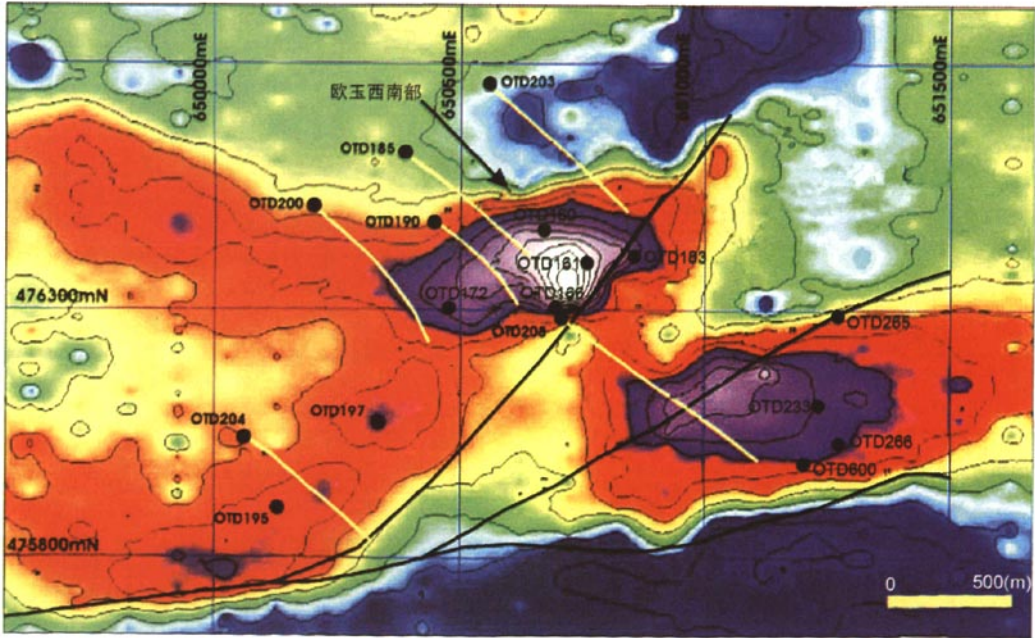


图 5 欧玉西南部激电(IP)异常和钻孔分布图(根据艾芬豪公司网上公布图件编制)  
OTD270-艾芬豪公司钻孔及编号; 图中异常红色、紫色区域代表视充电率高异常; 绿、蓝色区域代表视充电率低异常  
Fig. 5 Induced polarization(IP)anomalies map of southwest Oyu Tolgoi, showing locations of drill holes

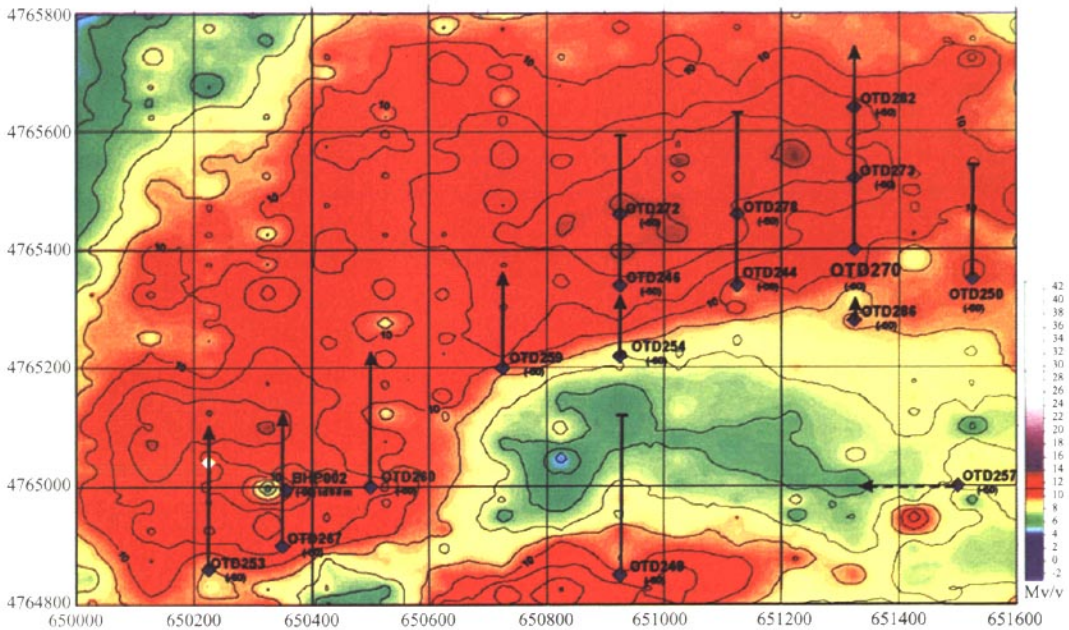


图 6 欧玉远北部激电(IP)异常和钻孔分布(根据艾芬豪公司网上公布图件编制)

OTD270-艾芬豪公司钻孔及编号; BHP002- BHP 公司钻孔及编号

Fig. 6 Induced polarization(IP)anomaly map of the far north part of Oyu Tolgoi, showing locations of drill holes OTD270- drill holes and their number of Ivanhoe Mines Company, BHP002- drill hole and their number of BHP Company

产生视电阻率低异常, 原生硫化矿体引起视充电率高异常, 是该矿区激电异常地质解释的重要经验。不同赋矿围岩的磁性不同, 造成矿体磁异常的不同, 产在蚀变石英二长闪长岩的矿体引起低磁或负磁异常, 而产在辉石玄武岩的矿体产生明显的高磁异常, 这对区分和寻找不同类型矿体具有指导意义。

参考文献:

刘益康, 徐叶兵. 2003. 蒙古 Oyu Tolgoi 铜金矿的勘查[J]. 地质与勘探, 39(1): 1-4.  
聂凤军, 江思宏, 张义, 刘妍, 胡朋. 2004. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 23(2): 176-189.  
肖伟, 王义天, 江思宏, 侯万荣. 2010. 南蒙古及邻区地质矿产简图及地形地貌特点[J]. 地球学报, 31(3): 473-484.  
张义, 聂凤军, 江思宏, 胡朋. 2003. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜-金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示[J]. 地质通报, 22(9): 708-712.

References:

KHASHGEREL B E, RYE R O, HEDENQUIST J W, I. KAYALIERIS. 2006. Geology and Reconnaissance Stable Isotope Study of the Oyu Tolgoi Porphyry Cu-Au System, South Gobi, Mongolia. Economic Geology[J], vol. 101(3):

503-522.

LIU Yi-kang, XU Ye-bing. 2003. The Prospecting and Main Features of Oyu Tolgoi Porphyry Cu-Au Deposit in Mongolia[J]. Geology and Prospecting, 39(1): 1-4. (in Chinese with English abstract).  
NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, ZHANG Yi, LIU Yan, HU Peng. 2004. Geological Features and Origin of Porphyry Copper Deposits in China\_Mongolia Border Region and its Neighboring Areas[J]. Mineral Deposit, 23(2): 176-189. (in Chinese with English abstract).  
PERELLO J, COX D, GARAMJAV D, SANJDORJ S, DIAKOV S, SCHISSEL D, MUNKHBAT T O, OYUN G. 2001. Oyu Tolgoi, Mongolia: Siluro Devonian Porphyry Cu-Au (Mo) and High-sulfidation Cu Mineralization with a Cretaceous Chalcocite Blanket[J]. Economic Geology, 96: 1407-1428.  
XIAO Wei, WANG Yi-tian, JIANG Si-hong, HOU Wan-rong. 2010. Explanatory Notes for the Simplified Geology and Mineral Resource Map and Typical Geographical and Topographic Features of Southern Mongolian and Its Neighboring Areas[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(3): 473-484(in Chinese with English caption).  
ZHANG Yi, NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, HU Peng. 2003. Discovery of the Oyu Tolgoi Porphyry Copper Gold Deposits in the Sino-Mongolia Border Region and its Significance for Mineral Exploration[J]. Geological Bulletin of China, 22 (9): 708-712. (in Chinese with English abstract).